

Summarization of Image Segmentation Methods for Adhesion Particles

Xuan Zhang, Xinfeng Zhang

Beijing University of Technology, Beijing
Email: zxf@bjut.edu.cn

Received: Jun. 10th, 2018; accepted: Jun. 27th, 2018; published: Jul. 4th, 2018

Abstract

Image segmentation of adhesive particles is an important application in the field of image segmentation, and it is also a difficult problem for researchers. In this paper, we first summarize the segmentation methods based on threshold, edge, watershed and so on. The threshold-based method is simple and fast, but the result depends on the threshold. The edge-based method can detect the edge accurately, and is suitable for the image with smooth surfaces and regular shapes. Watershed is the most widely used segmentation, which is more accurate than other methods. However, if the watershed segmentation is directly applied to the image of the adherent particles, over-segmentation is likely to occur. Therefore, combining with other methods to achieve segmentation can result in better segmentation results. Finally, the future algorithm should be improved in accuracy, precision and objective evaluation, due to the irregular shape, the same characteristics, the rough surface and the serious stacking.

Keywords

Adhesive Particles, Image Segmentation, Threshold, Edge, Watershed

粘连颗粒图像分割方法综述

张 轩, 张新峰

北京工业大学, 北京
Email: zxf@bjut.edu.cn

收稿日期: 2018年6月10日; 录用日期: 2018年6月27日; 发布日期: 2018年7月4日

摘 要

粘连颗粒图像分割是图像分割的一个重要应用领域, 也是一个难题。本文首先总结了基于阈值、边缘、

分水岭等大的分割方法。基于阈值的分割方法算法简单, 运算速度快, 但分割结果依赖阈值选择。基于边缘的分割方法边缘定位准确, 适用于表面光滑、形状规则的图像分割。粘连颗粒分割最广为应用的即为分水岭分割, 相对其他分割方法能得到更为准确的结果。但若对粘连颗粒图像直接应用分水岭分割, 则容易出现过分割现象。因此与其他方法相结合以实现分割则能够得到更好的分割结果。最后, 本文认为由于粘连颗粒图像形状不规则、特征相同、表面粗糙、堆叠严重等因素的影响, 未来算法还应在准确性、精确度、客观评价等方面继续改进。

关键词

粘连颗粒, 图像分割, 阈值, 边缘, 分水岭

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着计算机技术的快速发展, 智能图像处理技术在医疗、矿业、农业、工业等领域自动化处理中应用越来越广泛, 在这些处理过程中常常会碰到颗粒物质, 如细胞、矿石等。这些物质具有类圆性[1], 而且在照相机拍摄的图片中常出现一部分颗粒物质粘连在一起的现象, 这类图像称为粘连颗粒图像。颗粒物体检测工作以往主要依靠人工方法完成, 存在的问题有: 工作量大; 需要很强的专业性, 精确度低, 效率不高; 缺乏客观性。由于人工检测存在上述问题, 因此需要更加科学有效的检测手段, 对颗粒物体进行定性和定量的分析。

基于图像处理技术的粘连颗粒图像智能分析技术快速、准确、客观地对图像中颗粒的数目以及各种特征参数进行检测, 有效地提高分析的精确度, 减少工人的工作量。粘连颗粒图像处理技术运用到图像工程中三个层次的内容[2], 其过程如图1所示。在这些过程中, 图像分割是关键的一部分, 它对特征参数的提取结果有重要影响。

图像分割本质上是一个分类问题, 通过将图像中的像素点划分为具有实际意义的两个或多个类别区域, 从而提取出图像中的一个或多个目标, 理想的分割结果是目标物体被单独地分离出来。虽然已提出许多方法分割图像, 但缺乏可行的通用方法对所有测试图像都能有效地分割。与普通图像相比, 粘连颗粒图像情况更为复杂, 同一种类的颗粒物体具有相同的特征, 形状不规则, 表面粗糙, 互相粘连、聚堆, 很难分割开来, 使后续的颗粒图像分析变得十分艰难。本文总结了目前粘连图像分割的常用方法。

2. 基于阈值的分割方法

阈值分割是图像分割中最早被研究和使用的的方法, 具有物理意义明确、效果明显、易于实现、实时性良好的特点[3]。阈值分割是一种常见的直接对图像灰度信息阈值化处理的分割算法, 是简单的用一个或几个阈值将图像灰度直方图进行分类, 灰度值在同一个灰度类内的像素归为同一个物体。

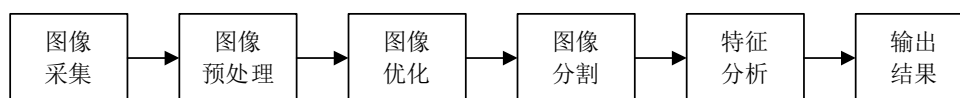


Figure 1. Analysis process of adhesive particle image
图1. 粘连颗粒图像处理和过程

张国英[4]提出了一种将一维最大熵与局部双窗邻域相结合的改进二值方法。双窗模板大小取决于目标相对尺寸,再分别对双窗计算一维信息最大熵求取局部优化阈值,取其小者最为二值化的最佳阈值。该算法计算速度较快,对于光照不均的低对比度、噪声严重的低信噪比图像,分割的二值化效果较好。

胡树煜[5]提出了自适应阈值调整的粘连细胞分割方法。通过求得粘连部位细胞像素的具体特征,运用阈值的自适应变化区分粘连部位像素之间的不同,对像素进行划分,克服了传统方法像素划分不清的弊端。

王佳欣[6]提出一直基于自适应阈值的畸变粘连细胞图像分割方法。对畸变粘连细胞图像进行H分量直方图变换,在进行归一化处理的同时进行平滑处理,消除细胞畸变因素造成的干扰;利用最大类间方差法进行迭代处理,搜寻最优分割阈值,得到准确的分割结果。

基于阈值的分割方法算法简单,运算速度快,但分割结果依赖阈值选择。粘连颗粒物体具有特征相同,互相粘连等特点,若阈值选取不当,则会导致过分割或欠分割,因此选取准确的阈值是阈值分割方法的重点和难点。

3. 基于边缘的分割方法

边缘总是以强度突变的形式出现,或者说不同区域之间像素灰度值变化比较剧烈的地段[7];根据数学有关知识,基于边缘的分割方法一般采用图像一阶导数极值和二阶导数过零点信息作为边缘点的判断依据。优点在于:边缘定位准确,运算速度快;其局限性在于:边缘的连续性和封闭性难以保证,对于复杂图像分割效果较差,出现如边缘模糊、边缘丢失等现象。边缘检测方法常常依赖于边缘检测算子,从而找到图像边缘。

李希[8]在基于边界跟踪的分割算法基础上,采用根据真实欧式距离所提取的局部极大值点信息对分割策略进行控制,同时对含有孔洞的粘连区域增加内边界跟踪处理,减少了过分割、欠分割的产生。

Yen [9]等人采用Canny边缘检测算子对矿石图像进行边缘检测,然后利用边缘连接算法将边缘缝隙连接成闭合区域,实现对矿石图像的分割。然而这种方法只能分割矿石颗粒表面较光滑的图像,且边缘检测算子对光照较为敏感。

王卫星[10]利用四个方向检测算子对图像边缘检测,然后利用直线检测算法去除掉伪边缘。其算法对光照适应性增强,但是由于没有将边缘连接成闭合的区域,只能进行矿石平均尺寸估算,而无法完全满足尺寸分布测量的要求。由于矿石图像的每个矿石都有多个表面,其表面较为粗糙,整体的光照也很不均匀,使得边缘检测算法有着一定的局限性。

张泽琳[11]等人通过多种图像增强和边缘检测方法的效果对比,提出一种将对对比度受限自适应直方图均衡法(CLAHE)和SUSAN边缘检测算法相结合的方法来检测煤堆图像中的煤粒边缘,利用数学形态学和孔洞填充算法得到最佳种子区域,有效防止分水岭算法的过分割和欠分割现象。

张瑞华[12]介绍了一种基于边缘链码信息的粘连细胞自动分割算法。该算法对弱对比度的细胞图像预处理;对二值化图像进行链码跟踪,并计算边缘各点的链码和、链码差等特征参数;利用特征参数判断边缘光滑段、边缘角点;对真实分割角点进行线性插值,最终实现粘连细胞的分割。该算法在复杂的细胞图像分割中具有有效性和可行性。但对形状特殊、严重粘连的细胞图像分割不太适用。

基于边缘的分割方法边缘定位准确,适用于表面光滑、形状规则的图像分割。对于表面粗糙、形状各异的粘连颗粒分割,易出现边缘不连续、不封闭的现象。

4. 基于分水岭的分割方法

基于区域的图像分割是考虑了图像的空间信息,如图像灰度、纹理、颜色和像素统计特性等,而将

目标对象划分为同一区域的分割方法[7]。分水岭分割方法是处理粘连颗粒图像最常用的基于区域的分割方法。

分水岭分割方法是一种基于拓扑理论的数学形态学的分割方法,基本思想是将图像看作测地学上的拓扑地貌,像素的灰度值表示该点的海拔,每一个局部极小值及其影响区域称为集水盆,而集水盆的边界则形成分水岭。分水岭的概念和形成可以通过模拟浸入过程来说明。分水岭算法的一个优点在于它可以得到单一像素宽度的连续边界,而且能检测出图像中粘连物体的微弱边缘。

Salinas 等人[13][14][15]采用基于区域的算法对矿石图像进行分割。其主要是利用阈值化算法提取标记,然后对矿石图像进行基于标记控制的分水岭分割。该方法应用提取的标记对分割过程进行控制,准确检测到矿石轮廓同时,防止矿石过分割问题。但是其分割结果取决于标记提取,为了将粘连矿石分开,算法设计也都较为复杂,导致算法的效率相对较低。

戴丹[16]提出一种改进的分水岭算法。首先使用形态学重建算法对图像进行滤波处理,再用 Otsu 对形态学重建滤波后的颗粒图像进行二值化,最后对二值化图像的欧氏距离图应用分水岭算法,完成图像分割。该方法具有良好的抗噪性能。

倪志强[17]提出了一种基于分水岭变换的粘连颗粒图像分割方法。首先对图像进行预处理、二值化;然后通过距离变换和灰度形态重构得到每个目标的种子区域(目标标记);再根据目标标记使用强制最小技术修正距离变换图;最后对修正后的距离变换图进行分水岭变换,得到分割结果。该算法对凹性粘连颗粒的分割效果并不理想,存在一定程度的过分割。

方红萍[18]提出自适应 H-minima 的改进分水岭堆叠细胞分割方法。该方法利用不同 h 值 H-minima 变换抑制种子噪声,并以对应候选种子为中心,分别采用改进 K-均值算法合并初始分割区域,产生候选分割结果;然后基于形状先验定义圆度指标 FuzzyR,并将堆叠细胞平均圆度作为评价函数,自适应提取各堆叠区域最优 h 值,实现分割。该算法针对于人工合成和真实堆叠细胞图像,均能有效抑制过分割、减少欠分割。

刘相滨[19]提出一种基于聚堆区域轮廓跟踪、删除的分割算法,依据跟踪“虫”在跟踪过程中遇到已跟踪过轮廓点的情况判断分割的进行。该算法适用于所有单目标满足凸集特性并具有一定圆度的颗粒图像中粘连目标的分割。但不适合狭长目标及单目标形状不规则的颗粒图像中粘连目标分割,且该算法阈值设定很关键,过小会导致过分割,过大会导致欠分割。

粘连颗粒分割最广为应用的即为分水岭分割,相对其他分割方法能得到更为准确的结果。但若对粘连颗粒图像直接应用分水岭分割,则容易出现过分割现象。因此一般在分水岭分割前均对图像进行预处理,以减少分水岭过分割问题。

5. 结合分水岭的组合方法

分水岭分割算法对微弱边缘具有良好的响应,并能得到封闭,连续的边缘,因此很好地将图像中不同灰度特征的目标物体单独地分割开来,方便后续图像中目标区域特征提取。但分水岭分割算法对图像中噪声、物体表面细微的灰度变化特别敏感,很容易产生过度分割现象,将同一个物体分割成多个部分。

董珂[20]提出了一种局部自适应阈值化和改进的分水岭变换相结合的复杂矿石图像分割算法。该算法利用积分图像和局部阈值提取矿石区域,并将分水岭变换与区域合并相结合对图像进行分割。提高了分割的速率和对光照的自适应性,有效避免了过分割问题。

白莉娜[21]提出了一种基于凹点匹配的分割算法。首先对图像进行预处理、阈值分割及形态学处理,利用链码边界跟踪,计算分割结果中粘连区域边界曲率,求出图像中的凹点,然后根据判断准则对凹点进行匹配,再用分割线连接匹配的凹点,对粘连颗粒进行分割。

林丽群[22]采用分水岭算法和最小生成树算法相结合的图像分割算法提高分割效率。首先用分水岭算法初分割分数阶微分增强的细胞图像, 然后选取过分割区域映射为节点, 最后基于改进的最小生成树算法再分割细胞图像。有效缓解了分水岭算法的过分割, 并减少了最小生成树算法中节点的数目, 提高了算法效率。但在分割精度上存在一些不足, 仍有一些粘连细胞未得到有效的分割。

黄籽博[23]提出一种基于小波变换和形态学分水岭的细胞图像分割方法, 以解决分水岭分割易产生过分割的现象。首先采用小波变换多分辨率分析对图像进行分解, 选取合适的小波基和改进去噪阈值函数对图像进行小波去噪, 然后对去噪后小波重构的细胞图像应用数学形态学距离变换、灰度重建等技术产生的区域标记进行分水岭变换, 最终得到分割结果。该算法能稳定准确地分割粘连细胞, 具有良好的鲁棒性。

缪慧司[24]首先通过距离变换由细胞二值图生成距离地形图, 取其局部极值点或点集作为前景标记, 进行第 1 次距离分水岭变换; 接着将第一步所得的分水岭脊线作为背景区域的标记, 前景标记不变, 视梯度幅度图为地形图, 再一次进行梯度分水岭变换, 得到细胞分割结果。两次分水岭变换前, 均采用强制极小值的方法修改地形图, 来控制地形图只在选取的标记处存在局部极小值。

由于分水岭分割易出现过分割, 因此与其他方法相结合以实现分割则能够得到更好的分割结果。

6. 其他方法

Mukherjee [25]则摒弃传统的分割方法, 用特征学习的方法对煤炭图像进行准确分割, 但是该方法对样本依赖性较高, 而采矿现场较复杂, 无法对所有条件进行训练。因而在现有的设备条件下, 该算法在效率与自适应性方面无法达到应用要求。

J. Cheewatanon, T. Leauhatong [26]提出先使用 mean shift 滤波器滤除噪声, 保持良好的细胞结构边缘, 然后使用区域增长的方法对图像进行分割, 再用活动轮廓提取细胞边界。该方法在 RGB 空间和 CIE-Lab 空间均表现出良好的性能。

7. 总结与展望

随着专家和学者的大量科研工作和实验, 粘连颗粒图像分割算法的应用型也越来越强。分割算法的智能化, 分割效果的准确性、精确性以及鲁棒性都将成为广大学者所追捧的准则和目标。

本文介绍了基于阈值、边缘、区域等方面的分割方法, 这些方法已经在医疗、矿业等方面广泛应用。但由于粘连颗粒图像形状不规则、特征相同、表面粗糙、堆叠严重等特点, 现有方法仍很难同时兼顾分割效率、精度、鲁棒性等。

针对现有粘连颗粒图像分割算法的优缺点, 未来的分割算法研究还需做到以下几点:

1) 现如今粘连颗粒算法仍以分水岭算法为主, 但分水岭分割算法对图像中噪声、物体表面细微的灰度变化特别敏感, 很容易产生过度分割现象。近几年, 大数据的日益火热, 深度学习成为了研究的热点。可以以分水岭为主, 引入深度学习等其他方法, 提高算法的效率和精度, 实现高效准确分割粘连颗粒;

2) 引入评价机制。粘连颗粒图像分割算法的评价应具有—般性、客观性和定量性。—般性是指该方法应适用于多个分割算法的评价, 客观性是指该方法不包含人为因素, 定量性是指评价结果是定量的。对分割算法评价要基于—定的评价准则, 在分割技术的评价中, 评价准则是最重要的因素;

3) 如今移动设备逐渐取代了计算机, 用户使用移动设备拍摄矿石等粘连颗粒图像直接进行分割评价将成为主流, 适合于移动设备处理的分割算法及系统将成为必需品。

参考文献

- [1] 齐帅. 基于计算机视觉的粘连类圆图像分割与统计算法研究[D]: [硕士学位论文]. 南昌: 南昌大学, 2014.
- [2] 徐蔚钦. 基于分水岭分割的粘连颗粒图像分析技术研究[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 中南大学, 2011.
- [3] 吴一全, 孟天亮, 吴诗嫻. 图像阈值分割方法研究进展 20 年(1994~2014) [J]. 数据采集与处理, 2015, 30(1): 1-23.
- [4] 张国英, 邱波, 刘冠洲. 基于双窗的自适应一维熵矿石图像分割方法[C]. 信息技术、服务科学与工程管理国际学术会议论文集: 2011 年卷. 北京, 2011.
- [5] 胡树煜. 医学图像中粘连细胞分割方法研究[J]. 计算机仿真, 2012, 29(2): 260-262.
- [6] 王佳欣, 翟红生. 畸变粘连细胞的高精度图像分割模型仿真[J]. 计算机仿真, 2015, 32(2): 418-422.
- [7] 丁亮, 张永平, 张雪英. 图像分割方法及性能评价综述[J]. 软件, 2010, 31(12): 78-83.
- [8] 李希, 王天江, 周鹏. 一种改进的粘连颗粒图像分割算法[J]. 湖南大学学报(自科版), 2012, 39(12): 84-88.
- [9] Yen, Y.K., Lin, C.L. and Miller, J.D. (2015) Particle Overlap and Segregation Problems in On-Line Coarse Particle Size Measurement. *Powder Technology*, **98**, 1-12. [https://doi.org/10.1016/S0032-5910\(97\)03405-0](https://doi.org/10.1016/S0032-5910(97)03405-0)
- [10] Wang, W.X. and Bergholm, F. (2008) Fragment Size Estimation without Image Segmentation. *The Imaging Science Journal*, **56**, 91-96. <https://doi.org/10.1179/174313108X268312>
- [11] 张泽琳, 杨建国, 苏晓兰. 煤堆图像分割与特征提取[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2014(6): 1900-1907.
- [12] 张瑞华, 吴谨. 基于边缘链码信息的黏连细胞分割算法[J]. 北京理工大学学报, 2013, 33(7): 91-97.
- [13] Salinas, R.A., Raff, U. and Farfan, C. (2005) Automated Estimation of Rock Fragment Distributions Using Computer Vision and Its Application in Mining. *IEEE Proceedings—Vision, Image and Signal Processing*, **152**, 1-8. <https://doi.org/10.1049/ip-vis:20050810>
- [14] Amankwah, A. and Aldrich, C. (2011) Automatic Ore Image Segmentation Using Mean Shift and Watershed Transform. *21st International Conference Radioelektronika*, Brno, 19-20 April 2011, 1-4.
- [15] Amankwah, A. and Aldrich, C. (2011) Automatic Estimation of Rock Particulate Size on Conveyer Belt Using Image Analysis. *Proceedings of SPIE—The International Society for Optical Engineering*, **152**, A301-A306. <https://doi.org/10.1117/12.913415>
- [16] 戴丹. 基于改进分水岭算法的粘连颗粒图像分割[J]. 计算机技术与发展, 2013(3): 19-22.
- [17] 倪志强, 叶明. 基于分水岭变换的粘连颗粒图像分割方法[J]. 计算机系统应用, 2014, 23(6): 93-97.
- [18] 方红萍, 方康玲, 刘新海. 自适应 H-minima 的改进分水岭堆叠细胞分割方法[J]. 计算机应用研究, 2016, 33(5): 1587-1590.
- [19] 刘相滨, 邹北骥, 孙家广. 菌群细胞图像分离算法研究[J]. 电子学报, 2005, 33(6): 1056-1059.
- [20] 董珂, 蒋大林. 基于改进分水岭变换的矿石图像分割算法[J]. 计算机工程与设计, 2013, 34(3): 899-903.
- [21] 白莉娜, BAILi-na. 基于凹点匹配的粘连颗粒图像分割算法[J]. 南阳理工学院学报, 2014, 6(6): 53-55.
- [22] 林丽群, 王卫星. 改进的分数阶微分及图论的粘连血细胞图像分割[J]. 福州大学学报, 2017, 45(6): 794-800.
- [23] 黄籽博, 刘任任, 梁光明. 基于小波变换和形态学分水岭的血细胞图像分割[J]. 计算技术与自动化, 2017, 36(3): 100-104.
- [24] 缪慧司, 等. 结合距离变换与边缘梯度的分水岭血细胞分割[J]. 中国图象图形学报, 2016, 21(2): 192-198.
- [25] Mukherjee, D.P., et al. (2009) Ore Image Segmentation by Learning Image and Shape Features. *Pattern Recognition Letters*, **30**, 615-622. <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2008.12.015>
- [26] Cheewatanon, J., et al. (2011) A New White Blood Cell Segmentation Using Mean Shift Filter and Region Growing Algorithm. *International Journal of Applied Biomedical Engineering*, **4**, 30-35.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2325-6753, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: jisp@hanspub.org